

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ)

---

Научный журнал

**ТРУДЫ  
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ СВЯЗИ**

Том 9. № 4

**Proceedings of Telecommunication Universities**

Vol. 9. Iss. 4

Санкт-Петербург

2023

Описание журнала

Научный журнал. Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (распоряжение Минобрнауки России № 21-р от 12.02.2019), по специальностям (распоряжение № 33-р от 01.02.2022):

1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

2.2.6. Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций

2.2.16. Радиолокация и радионавигация

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации

2.3.6. Методы и системы защиты информации, информационная безопасность

Выпускается с 1960 года. Выходит 6 раз в год. Издается на русском и английском языках.

Редакционный совет

<b>Киричек Р.В.</b> <i>Главный редактор</i>	д.т.н., доцент, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ), г. Санкт-Петербург, Россия
<b>Владыко А.Г.</b> <i>Зам. Главного редактора</i>	к.т.н., доцент, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ), г. Санкт-Петербург, Россия
<b>Буйневич М.В.</b> <i>Шеф-редактор</i>	д.т.н., проф., Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ), г. Санкт-Петербург, Россия
<b>Зеневич А.О.</b>	д.т.н., проф., Белорусская государственная академия связи, г. Минск, Республика Беларусь
<b>Розанов Н.Н.</b>	д.ф.-м.н., проф., чл.-корр. РАН, АО «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова» (ГОИ), г. Санкт-Петербург, Россия
<b>Дукельский К.В.</b>	д.т.н., доцент, АО «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова» (ГОИ), г. Санкт-Петербург, Россия
<b>Кучерявый Е.</b>	PhD, Технологический университет Тампере, г. Тампере, Финляндия
<b>Гошек И.</b>	PhD, Технологический университет Брно, г. Брно, Чешская республика
<b>Тиамийу О.А.</b>	PhD, Университет Илорина, г. Илорин, Нигерия
<b>Козин И.Д.</b>	д.ф.-м.н., проф., Алматинский университет энергетики и связи, г. Алма-Аты, Казахстан
<b>Самуйлов К.Е.</b>	д.т.н., проф., Российский университет дружбы народов (РУДН), г. Москва, Россия
<b>Степанов С.Н.</b>	д.т.н., проф., Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), г. Москва, Россия
<b>Росляков А.В.</b>	д.т.н., проф., Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ), г. Самара, Россия
<b>Кучерявый А.Е.</b>	д.т.н., проф., Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ), г. Санкт-Петербург, Россия
<b>Канаев А.К.</b>	д.т.н., проф., Петербургский университет путей сообщения имени Александра I (ПГУПС), г. Санкт-Петербург, Россия
<b>Новиков С.Н.</b>	д.т.н., проф., Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ), г. Новосибирск, Россия
<b>Дворников С.В.</b>	д.т.н., проф., Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного (ВАС), г. Санкт-Петербург, Россия
<b>Коржик В.И.</b>	д.т.н., проф., Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ), г. Санкт-Петербург, Россия
<b>Ковалгин Ю.А.</b>	д.т.н., проф., Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ), г. Санкт-Петербург, Россия

Регистрационная информация

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: ПИ № 77-77501 от 17.01.2020 г. (пред. рег. № 77-17986 от 07.04.2004 г.)

Подписной индекс в объединенном каталоге «ПРЕССА РОССИИ»: 59983

Размещение в РИНЦ (elibrary.ru) по договору: № 59-02/2013R от 20.02.2013

Контактная информация

**Учредитель и издатель:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ)

**Адрес учредителя:** 191186, Санкт-Петербург, набережная реки Мойки, д. 61, литера А

**Адрес редакции:** 193232, Санкт-Петербург, пр. Большевиков, 22/1, к. 334/2  
**Тел.:** +7 (812) 326-31-63, м. т. 2022, +79643759970  
**E-mail:** [tuzs@sut.ru](mailto:tuzs@sut.ru)  
**Web:** <http://tuzs.sut.ru>  
**ВК:** <http://vk.com/spbtuzs>

#### Description

Scientific journal. The journal is included in the List of reviewed scientific publications, in which the main scientific results of dissertations for the degree of candidate of science and for the degree of doctor of science should be published (order of the Ministry of Education and Science of Russia No 21-r of 12 February 2019) in the field of (order of the Ministry of Education and Science of Russia No 33-r of 01 February 2022):

**1.2.2.** Mathematical modeling, numerical methods and complexes of programs

**2.2.6.** Optical and optoelectronic devices and complexes

**2.2.13.** Radio engineering, including television systems and devices

**2.2.14.** Antennas, microwave devices and its technologies

**2.2.15.** Systems, networks and telecommunication devices

**2.2.16.** Radiolocation and radio navigation

**2.3.1.** System analysis, management and information processing

**2.3.6.** Methods and systems of information security, cybersecurity

**Since 1960. Published 6 times per year. Published in Russian and English.**

#### Editorial Board

<b>R.V. Kirichek</b> <i>Editor-in-chief</i>	DSc, associate prof., The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications (SPbSUT), Saint-Petersburg, Russia
<b>A.G. Vladiko</b> <i>Deputy editor-in-chief</i>	PhD, associate prof., The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications (SPbSUT), Saint-Petersburg, Russia
<b>M.V. Buinevich</b> <i>Chief editor</i>	DSc, prof., The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications (SPbSUT), Saint-Petersburg, Russia
<b>A.O. Zenevich</b>	DSc, prof., Belarusian State Academy of Communications, Minsk, Republic of Belarus
<b>N.N. Rozanov</b>	DSc, prof., member-corr. RAS, Open Joint Stock Company «S.I. Vavilov State Optical Institute» (SOI), Saint-Petersburg, Russia
<b>K.V. Dukel'skii</b>	DSc, associate prof., Open Joint Stock Company «S.I. Vavilov State Optical Institute» (SOI), Saint-Petersburg, Russia
<b>Y. Koucheryav</b>	PhD, Tampere University of Technology, Tampere, Finland
<b>I. Hošek</b>	PhD, Brno University of Technology, Brno, Czech Republic
<b>O.A. Tiamiyu</b>	PhD, University of Ilorin, Ilorin, Nigeria
<b>I.D. Kozin</b>	DSc, prof., Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan
<b>K.E. Samuilov</b>	DSc, prof., Peoples' Friendship University (RUDN), Moscow, Russia
<b>S.N. Stepanov</b>	DSc, prof., Moscow Technical University of Communication and Informatics (MTUCI), Moscow, Russia
<b>A.V. Roslyakov</b>	DSc, prof., Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics (PSUTI), Samara, Russia
<b>A.E. Koucheryav</b>	DSc, prof., The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunication (SPbSUT), Saint-Petersburg, Russia
<b>A.K. Kanaev</b>	DSc, prof., Emperor Alexander I-st Petersburg State Transport University (PSTU), Saint-Petersburg, Russia
<b>S.N. Novikov</b>	DSc, prof., Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences (SibSUTIS), Novosibirsk, Russia
<b>S.V. Dvornikov</b>	DSc, prof., Military Academy of Telecommunications named after Marshal Union S.M. Budyonny, Saint-Petersburg, Russia
<b>V.I. Korzhik</b>	DSc, prof., The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunication (SPbSUT), Saint-Petersburg, Russia
<b>Yu.A. Kovalgin</b>	DSc, prof., The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunication (SPbSUT), Saint-Petersburg, Russia

#### Registration Information

Registered by Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media on 17.01.2020: PI No. 77-77501 (prev. reg. on 04.07.2004: No. 77-17986)

Subscription index for joint catalog «PRESSA ROSSII»: 59983

Accommodation in RINC (elibrary.ru) by agreement on 20.02.2013: No. 59-02/2013R

#### Contact Information

<b>Publisher:</b>	Federal State Budget-Financed Educational Institution of Higher Education «The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications» (SPbSUT)	<b>Post address:</b>	193232, Saint Petersburg, Prospekt Bolshevikov, 22/1
<b>Publisher address:</b>	191186, Saint Petersburg, Moika river embankment, 61-A	<b>Phone:</b>	+7 (812) 326-31-63, local 2022, +79643759970
		<b>E-mail:</b>	<a href="mailto:tuzs@sut.ru">tuzs@sut.ru</a>
		<b>Web:</b>	<a href="http://tuzs.sut.ru">http://tuzs.sut.ru</a>

## СОДЕРЖАНИЕ

## CONTENTS

## КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ И ИНФОРМАТИКА

<b>Дворников С.С., Дворников С.В.</b> Оценка дальности обнаружения малоразмерных БПЛА при заданной вероятности их идентификации	<b>6</b>	<b>Dvornikov S.-jr, Dvornikov S.</b> Detection range estimation of small UAVs at a given probability of their identification
---	----------	--

## ЭЛЕКТРОНИКА, ФОТОНИКА, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И СВЯЗЬ

<b>Гулаков И.Р., Зеневич А.О., Матковская Т.А., Новиков Е.В.</b> Исследования свойств микроизгиба одномодового оптического волокна	<b>15</b>	<b>Gulakov I., Zenevich A., Matkovskaia T., Novikov E.</b> Investigations of single-mode optical fiber microbending properties
<b>Ищенко Е.А., Пастернак Ю.Г., Пендюрин В.А., Проскурин Д.К., Фёдоров С.М.</b> Применение эквивалентных схем pin-диодов и МЭМС-ключей в задачах электродинамического моделирования	<b>21</b>	<b>Ishchenko E., Pasternak Yu., Pendyurin V., Proskurin D., Fedorov S.</b> Equivalent circuits application of pin-diodes and MEMS-keys in electrodynamic modeling problems
<b>Мендельсон М.А., Егоров В.А., Копылов Д.А.</b> Кодирование АФМ-сигналов при передаче дробного числа бит на символ	<b>34</b>	<b>Mendelson M., Egorov V., Kopylov D.</b> AFM signals coding when transmitting a fractional number of bits per symbol
<b>Фокин Г.А.</b> Диаграммообразование на основе позиционирования в сверхплотных сетях радиодоступа миллиметрового диапазона. Часть 1. Модель двух радиолиний	<b>44</b>	<b>Fokin G.</b> Location aware beamforming in millimeter-wave band ultra-dense radio access networks. Part 1. Model of two links

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

<b>Макаренко С.И., Нестеров А.А.</b> Структурно-функциональная модель интероперабельности организационно- технических систем	<b>65</b>	<b>Makarenko S., Nesterov A.</b> Structural and functional model of organizational and technical systems interoperability
<b>Марочкина А.В., Парамонов А.И.</b> Метод маршрутизации трафика в трехмерной сети Интернета вещей высокой плотности с применением серого реляционного анализа	<b>75</b>	<b>Marochkina A., Paramonov A.</b> A method for routing traffic in a three-dimensional high-density IoT network using gray relational analysis
<b>Липатников В.А., Задбоев В.А., Мелехов К.В., Шевченко А.А.</b> Метод повышения защищенности информационно- телекоммуникационной сети с учетом использования средств определения геолокации нарушителя	<b>86</b>	<b>Lipatnikov V., Zadboev V., Melekhov K., Shevchenko A.</b> A method of improving the security of information and telecommunications network using the means of determining intruder's geolocation
<b>Шелухин О.И., Раковский Д.И.</b> Многозначная классификация компьютерных атак с использованием искусственных нейронных сетей с множественным выходом	<b>97</b>	<b>Shelukhin O., Rakovsky D.</b> Multivalued classification of computer attacks using artificial neural networks with multiple outputs
<b>Яковлев В.А., Салман В.Д.</b> Способ защиты от атаки некорректного заполнения избирательного бюллетеня в системе дистанционного электронного голосования	<b>114</b>	<b>Yakovlev V., Salman W.</b> Defense method against an attack of incorrect ballot filling in a remote electronic voting system